

ESTIMACIÓN DEL NÚMERO Y LA BIOMASA DE INDIVIDUOS POR MÉTODOS ACÚSTICOS EN EL CULTIVO DEL ATÚN ROJO (*THUNNUS THYNNUS*)

Fernando de la Gándara¹ y Victor Espinosa²

SUMMARY

Since 1995, bluefin tuna (Thunnus thynnus) have been caught by purse seine in order to place the live fish in floating cages, feed them during various months with fish and pelagic cephalopods and later kill them for shipment mainly to the Japanese market. As a result of this practice, the natural stocks of this species are in an overfished state and therefore it has been necessary to implement catch limits (TACs). Since the tunas cannot be manipulated at the time of their capture, the estimate of the biomass of tunas caught must be carried out by visual methods using video cameras that are placed at the time when the tunas are transferred from the purse seine net to the towing cage. Therefore, there are no direct data on the catch until the animals are killed some months later, when evidently there is a variation in their weight. On the other hand, the regulation of the fishery requires immediate knowledge of the catch in order to close the fishery when the quota has been reached. This paper proposes the development of a system that permits estimating the number and the biomass of bluefin tunas by acoustic means, both at the time of transfer as well as during their fattening in the floating cages.

RÉSUMÉ

Depuis 1995, le thon rouge (Thunnus thynnus) est capturé à la senne afin d'introduire les spécimens vivants dans des cages flottantes, les alimenter pendant plusieurs mois de poissons et de céphalopodes pélagiques et les mettre à mort postérieurement pour les envoyer fondamentalement sur le marché japonais. Cette pratique a amené les populations naturelles de cette espèce à une situation de surpêche, en raison de laquelle il s'est avéré nécessaire d'instaurer des limites à ses captures (TAC). Étant donné que les thons ne peuvent pas être manipulés au moment de leur capture, l'estimation de la biomasse des thons capturés doit être réalisée par des méthodes visuelles utilisant des appareils de vidéo qui sont placés au moment où les thons sont transférés du filet de senne à la cage de transport. C'est pourquoi on ne dispose pas d'une donnée directe de la capture tant que les spécimens ne sont pas mis à mort quelques mois plus tard, lorsque leur poids aura bien entendu varié. D'autre part, la réglementation de la pêche passe par la connaissance immédiate de la capture, pour fermer la pêche dès que le quota a été atteint. Le présent projet propose le développement d'un système qui permette l'estimation du nombre et de la biomasse des spécimens de thon rouge par le biais de méthodes acoustiques, aussi bien au moment du transfert que pendant son engraissement dans les cages flottantes.

RESUMEN

Desde 1995 se viene realizando la captura del atún rojo (Thunnus thynnus) mediante el arte de cerco, para ubicar a los ejemplares vivos en recintos flotantes, alimentarlos durante varios meses con peces y cefalópodos pelágicos, y sacrificarlos posteriormente para enviarlos fundamentalmente al mercado japonés. Esta práctica ha llevado a las poblaciones naturales de esta especie a una situación de sobrepesca por lo que ha sido necesaria la instauración de limitaciones en sus capturas (TAC). Debido a que los atunes no pueden ser manipulados en el momento de su captura, la estimación de la biomasa de atunes capturados debe realizarse por métodos visuales mediante cámaras de video que se colocan en el momento en que los atunes son transferidos desde la red de cerco a la jaula de transporte. Por tanto, no se dispone de un dato directo de la captura hasta que los animales son sacrificados unos meses después, cuando evidentemente su peso ha variado. Por otra parte la regulación de la pesquería pasa por el conocimiento inmediato de la captura, para cerrar la pesquería en el momento en que la cuota

¹ IEO (Instituto Español de Oceanografía) Centro Oceanográfico de Murcia Planta de Cultivos Marinos Ctra. de la Azohía s/n 30860 - Puerto de Mazarrón (Murcia, España). fernando.delagandara@mu.ieo.es

² I.G.I.C. (Instituto de Investigación para la Gestión Integrada de Zonas Costeras) - Polytechnic University of Valencia, C/ Paranimf, 1 46730 Grao de Gandía (Valencia, España) vipuipon@epsig.upv.es

se ha alcanzado. El presente proyecto propone el desarrollo de un sistema que permita la estimación del número y la biomasa de individuos de atún rojo mediante métodos acústicos, tanto en el momento de la transferencia como durante su cultivo en estructuras flotantes.

KEYWORDS

Bluefin tuna, aquaculture, acoustic methods, biomass estimation

1. Antecedentes

El atún rojo atlántico (BFT), *Thunnus thynnus* es una especie emblemática que viene alimentando a las poblaciones del Mediterráneo desde hace miles de años (Cort, 2007). Es un pez teleósteo perteneciente a la familia de los escómbridos que se distribuye ampliamente entre los 60°N y los 40°S en el océano atlántico y el mar mediterráneo (Collette, Reeb and Block, 2002). Es una especie de gran tamaño, que puede alcanzar 3 metros de longitud y 600 kg de peso (Cort, 2007). Se trata de un gran nadador, alcanzando una velocidad media de 5,9 km/h y una máxima de entre 13 y 31 km/h (Lutcavage et al., 2000) pudiendo cruzar el océano Atlántico en menos de 60 días. Es capaz de desplazarse miles de kilómetros, estando considerado como especie altamente migratoria según el Anexo I de la convención de 1982 sobre la Ley del Mar (FAO, 1994). Es capaz de realizar a lo largo de su vida varios viajes entre las costas orientales del Atlántico Norte y Mediterráneo y las occidentales.

Desde 1995 se viene desarrollando la actividad denominada “engrase” de esta especie con gran éxito en el Mediterráneo (Miyake et al, 2003; Belmonte, Ortega y de la Gándara, 2007). Esta actividad comienza con la captura de ejemplares de gran tamaño que entran en el Mediterráneo a desovar en primavera. Esta captura se realiza mediante arte de cerco, que es el único arte capaz de capturar un gran número de ejemplares y mantenerlos vivos. Una vez cercados los atunes, el cerco se mantiene abierto y su red se une a la red de una jaula de transporte. Una vez conectadas ambas redes, se abre una “ventana” por la que se obliga a los peces a pasar desde la red de cerco hasta la red de transporte, operación ésta denominada “transferencia”

Desde los lugares de captura, distribuidos por todo el Mediterráneo, los ejemplares son transportados vivos en el interior de jaulas flotantes móviles arrastradas por barcos, hasta las instalaciones de cultivo, consistentes en jaulas o corrales flotantes próximos a tierra. Una vez en las instalaciones, se realiza una transferencia de la jaula de transporte a la jaula definitiva con un método idéntico al descrito anteriormente (Belmonte, Ortega y de la Gándara, 2007).

Ya en las instalaciones de engorde, los atunes son alimentados generalmente durante unos seis meses con especies de bajo valor comercial (sardina, caballa, alacha y pota). El objetivo fundamental es aumentar el contenido graso de su carne, hecho este altamente valorado en el mercado japonés, al que va dirigida la práctica totalidad de la producción (Ottolenghi et al., 2004; FAO, 2008).

La producción de atún rojo se limita en la actualidad al mar Mediterráneo. Los países productores son España, Italia, Túnez, Malta, Chipre, Grecia, Croacia y Turquía, aunque las producciones mayores en estos últimos años provienen de Malta, Túnez, Croacia, Italia y Turquía (<http://www.iccat.int/ffb.asp>). Las producciones en los últimos años han sido 21.000 en 2003, 24.000 en 2005, 21.800 en 2006 y 22.800 en 2007 (Belmonte y de la Gándara, 2008).

La actividad de engrase del atún rojo ha producido una importante revalorización de esta especie en el mercado internacional. Como consecuencia, en la última década se ha producido un incremento considerable en las capturas, especialmente en el Mediterráneo, que han llevado a las poblaciones naturales de esta especie a una situación de sobrepesca muy preocupante (Fromentin and Powers, 2005). Para regular la pesquería la Comisión Internacional para la Conservación del Atún Atlántico (ICCAT) estableció una Captura Total Admisible (TAC) repartida en cuotas entre los países que integran dicha Comisión.

Desde 1998 han estado en vigor límites de captura para la unidad de ordenación del Atlántico este y el Mediterráneo. En 2002, la Comisión fijó el Total Admisible de Captura para el atún rojo del Atlántico este y el Mediterráneo en 32.000 t para los años 2003-2006 y en 29.500 t y 28.500 t para 2007 y 2008, respectivamente. En 2008, las capturas declaradas para 2003-2007 eran aproximadamente los niveles del TAC, aunque ligeramente superiores en 2005 (35.732 t) y posiblemente en 2007 (las capturas declaradas preliminarmente son de 32.398 t). Sin embargo el Comité está firmemente convencido, basándose en el conocimiento de las

pesquerías y en las estadísticas comerciales, de que se está produciendo una fuerte infradeclaración y de que las capturas reales se sitúan muy por encima del TAC.

El Comité Científico Permanente para la Investigación y las Estadísticas (SCRS) del ICCAT estima, desde finales de los 90, que las capturas reales eran cercanas a los niveles declarados a mitad de los 90, pero para 2007, las estimaciones eran más elevadas, es decir, aproximadamente 61.000 t en 2007 para el Atlántico este y Mediterráneo (ICCAT, 2009a)

Dado que la mayoría de los atunes se capturan con redes de cerco, y que de éstos, la mayoría van destinados a su cultivo en jaulas flotantes, los datos de captura (número, peso medio etc.) se basan en estimaciones visuales que se realizan mediante cámaras de video que se colocan en el momento en que los atunes son transferidos desde la red de cerco a la jaula de transporte. Por tanto no se dispone de un dato directo de la captura hasta que los animales son sacrificados unos seis meses después. Evidentemente el tamaño de los individuos ha cambiado significativamente (Aguado and García-García, 2005) en una proporción que nadie conoce con exactitud ya que los datos de captura se basan en estimaciones más o menos subjetivas. Por otra parte la regulación de la pesquería pasa por el conocimiento inmediato de la captura, para cerrar la pesquería en el momento en que la cuota se ha alcanzado.

El desconocimiento de la cantidad exacta de atunes extraídos del stock natural en el momento de su extracción y la variabilidad de factores de crecimiento que se han barajado, ha llevado a que muchas granjas hayan visto en el momento del sacrificio y envío al mercado de los atunes, que habían superado las cantidades establecidas por cuota, lo que ha llevado a las autoridades a obligar a estas granjas a liberar los excesos de atunes con el consiguiente perjuicio económico que en algunos casos ha superado el millón de euros. Por otra parte, no parece muy claro que los atunes liberados después de seis meses de cautiverio, se reúnan nuevamente con las poblaciones silvestres. Generalmente quedan semiaturdidos cerca de la instalación en la que permanecieron tanto tiempo, siendo presa fácil de pescadores furtivos.

Para resolver este problema, de forma parcial, la nueva recomendación de ICCAT 08-05 resuelta en 2008 en Marrakech (ICCAT, 2009b), en el artículo 96 cita:

Factores de crecimiento: Cada Parte Contratante o Colaboradora (CPC) definirá los factores de crecimiento que se aplicarán al atún rojo engordado en sus jaulas. Notificará a la Secretaría de ICCAT y al SCRS los factores y la metodología utilizados. El SCRS revisará esta información en sus reuniones anuales de 2009 y 2010 e informará de ello a la Comisión. El SCRS continuará estudiando los factores de crecimiento estimados y facilitará asesoramiento a la Comisión para su reunión anual de 2010.

Así mismo, el SCRS recomienda asimismo ampliar la información disponible sobre este factor de crecimiento del atún rojo en las jaulas, ya que reconoce que esta información es de momento bastante limitada. En base a la información disponible para el SCRS, el Comité asumió que los peces de gran tamaño mantenidos en jaula durante varios meses para su engorde aumentan su peso en una media del 25% del que tenían en el momento de la captura (es decir, el factor de conversión es de 0,8). El SCRS/2005/114 daba tasas de crecimiento mucho más altas para el atún rojo pequeño (juvenil) en jaulas (Ticina, Katavic and Grubisic, 2007).

Dicho todo esto, resulta evidente la necesidad que existe de aplicar técnicas que permitan calcular de la forma más precisa posible y, obviamente de una forma no invasiva, tanto el número de individuos presentes en las jaulas como su crecimiento a lo largo de la fase de engorde, y fundamentalmente dichos datos en el momento de su captura, y a ser posible, en tiempo real.

Es conocido el uso de la acústica submarina para la estimación de biomasa de cardúmenes de peces (Burczynski, 1982) o para su monitorización en el medio natural (Soria et al., 2003; Brehmer et al., 2007; Doray et al., 2007), así como en unidades de cultivo (Juell et al., 2002; Conti et al., 2006) y particularmente de atunes (Bertrand and Josse, 2000; de la Gándara et al., 2005). Fundamentalmente la estimación de biomasa se basa en la determinación de la sección eficaz de dispersión de la onda acústica de cada pez, observada desde la dirección de emisión de la misma; esta sección es conocida en su expresión logarítmica como *target strength* (TS) en la literatura anglosajona, y viene dada por la razón entre energía devuelta frente a energía incidente sobre el pez. Por lo tanto, la energía acústica dispersada hacia el emisor del pulso acústico por cada pez depende de la magnitud de su TS. Aplicando el principio de superposición lineal es posible estimar de la energía acústica recibida en forma de ecos la biomasa total que los causa (Mac Lennan, 1995).

El TS de cada pez depende de la especie, del tamaño del ángulo de observación y de la frecuencia acústica de trabajo, y es necesaria su caracterización para la estimación de biomasa en las condiciones de cada tipo de medida (Foote, 1991). Desde el punto de vista de las campañas de estimación de stocks mediante ecosondas verticales en el medio natural, la medida del TS es necesaria fundamentalmente desde la perspectiva dorsal y utilizando diferentes frecuencias, lo que permite la identificación de especies (Horne, 2000). Las medidas del TS en esas condiciones han permitido establecer para diferentes especies la siguiente relación entre el TS y la longitud L del pez:

$$TS = a \log(L) + b \quad (1)$$

donde a y b dependen de la frecuencia y la especie estudiada. Desde el punto de vista de la acuicultura marina la estimación de la biomasa total en jaulas marinas no ha sido resuelta hasta la actualidad debido a diferentes problemas relacionados con las dimensiones de las jaulas y del haz acústico, y la alta densidad de los cardúmenes (Espinosa, 2002), pero diferentes trabajos han establecido la posibilidad de monitorizar el proceso de alimentación, el comportamiento y el crecimiento (Knudsen, 2004, Espinosa, 2006). Las medidas del TS a altas frecuencias (120 y 200kHz) en granjas de salmones (Knudsen, 2004) muestran que la relación lineal de la expresión (1) se cumple para medidas ventrales desde el fondo de las jaulas, pero no para las dorsales desde la superficie, por lo que es la primera disposición la adecuada para monitorizar el crecimiento y la densidad de peces, a la vez que permite detectar el pienso que no es consumido y cae hasta el transductor. El anómalo comportamiento del TS dorsal medido en jaulas puede estar relacionado con la relación entre el tamaño y anatomía del pez, la frecuencia de trabajo, y la distancia necesaria para que el campo dispersado evolucione hasta una distribución espacial estable (campo lejano), cuya intensidad decrece de manera monótona con la distancia al pez. El hecho de que ventralmente las medidas se ajusten a la teoría, puede ser explicado por que la contribución de la vejiga natatoria al campo dispersado no está enmascarada por más estructuras anatómicas (como en el caso dorsal) y la distribución espacial del campo sea más sencilla y evolucione más rápidamente hasta la condición de campo lejano.

Según lo anterior, sería posible monitorizar la biomasa en jaulas de atunes desde el fondo de la jaula, siempre que se pudiese obtener una relación del tipo de la expresión (1). Dado el tamaño de los atunes empleados en acuicultura (> 30 kg), y la baja densidad en las jaulas de engorde, el uso de transductores de frecuencia y apertura adecuada podría permitir estimar con precisión el número y el tamaño individual de un stock de atunes ubicados en el interior de una jaula flotante.

Asimismo, el mismo método podría utilizarse para estimar la biomasa capturada en el cerco, situando un transductor en el espacio de transvase del cerco a las jaulas de transporte.

Mediante el uso de estas técnicas puede desarrollarse un sistema capaz de realizar dichas estimas, de forma precisa, y por tanto, resolvería uno de los grandes problemas a los que se enfrenta la regulación de la pesquería de atún rojo en este momento.

En paralelo a los estudios de TS ventral necesarios para la monitorización de jaulas o del perceso de transvase, pueden realizarse medidas del TS para diferentes ángulos de medida, tanto desde la superficie como desde diferentes posiciones angulares. El fin de las mismas sería aportar la información necesaria para evaluar stocks en el medio natural, bien con ecosondas científicas verticales, bien con las más modernas ecosondas multihaz que permiten muestrear bancos completos y realizar un análisis cuantitativo, aunque en este último caso es necesario el desarrollo de algoritmos de procesado y de protocolos de campañas de muestreo (Ona, 2009 y Korneliussen, 2009). Una alternativa al uso de sistemas científicos multihaz es la calibración de sistemas sonar que permitan el registro de las señales acústicas para su posterior procesado, y/o su uso combinado con ecosondas científicas verticales. En todo caso, es necesario un estudio sistemático de la dependencia angular del TS del atún rojo para diferentes frecuencias de trabajo

2. Objetivos

- 1) Determinar el TS del atún rojo en función de su tamaño y del ángulo de incidencia del haz acústico para diferentes frecuencias de trabajo.
- 2) Desarrollar un sistema capaz de estimar la biomasa individual de un stock de atún rojo en una jaula de cultivo.
- 3) Desarrollar un sistema (cortina acústica) capaz de estimar el número de individuos y su tamaño individual, en el momento de la transferencia, tras su captura.

3. Metodología y plan de trabajo

Las actividades a realizar habrán de llevarse a cabo entre los meses de Septiembre a Diciembre del año posterior (Tabla 1).

Actividad 1.1: Diseño del sistema de medida de TS. Se diseñará un sistema sincronizado de ecosondas de diferentes frecuencias (18-38-50 y 120 KHz) y de cámaras estereoscópicas para el registro de la orientación del atún y medida de su tamaño, para la calibración de la curva de TS. Se comenzará probando diferentes frecuencias, disposiciones y sistemas de alineación y anclaje de los sistemas en una jaula de cultivo de atún de la empresa/s participante/s en el proyecto (a partir de ahora EMPRESA), para determinar cuál es el sistema y la ubicación más adecuados. Si fuera conveniente, un número determinado de atunes serían transferidos a un recinto más pequeño, denominado “copo” en donde poder hacer mediciones más puntuales.

Actividad 1.2: Medición del TS para la medida indirecta del tamaño individual de los atunes. Una vez desarrollado el sistema de medida, como su ubicación, se instalará de forma que trabaje en continuo, realizando mediciones de 24 horas. Los ecogramas e imágenes obtenidas se analizarán para obtener la correlación de las curvas de TS y de mediciones ópticas del tamaño desde diferentes ángulos se creará un interfaz capaz de estimar la biomasa individual para el caso de las medidas ventrales, que se contrastará con las estimaciones de los técnicos de la EMPRESA.

Actividad 1.3: Calibración del sistema de medida ventral con los datos reales. Unas semanas antes del sacrificio de los peces, se realizarán las correcciones oportunas del sistema y se procederá a la calibración del mismo con los datos reales obtenidos de los ejemplares al ser sacrificados y extraídos del agua.

Actividad 2.1: Diseño de la cortina acústica. Se diseñará una ventana provista de sensores capaces de estimar el número y el tamaño individual de los atunes que la atraviesen. Se tendrá muy en cuenta la opinión de los técnicos de la EMPRESA para que la operación en el mar sea lo más sencilla posible y que interfiera lo mínimo en las labores de transferencia.

Actividad 2.2: Aplicación de la cortina acústica. Se construirá dicha ventana y se ubicará en el centro de la jaula de cultivo de atunes. A continuación se forzará a los peces a atravesarla realizando las mediciones oportunas.

Actividad 2.3: Puesta a punto del interfaz. Se procederá al análisis de los datos y de las oportunas correcciones del sistema. Se desarrollará un interfaz que en tiempo real indique el número de atunes y su tamaño individual, una vez que hayan pasado por la “ventana sensible”.

Actividad 2.4: Adaptación de la cortina acústica a mar abierto. Una vez comprobada la eficacia del sistema, se adaptará para su uso en la transferencia en mar abierto, de forma que, sin perder su eficacia, no interfiera en la delicada maniobra de transferencia de los atunes, desde la red de cerco hasta el interior de la jaula de transporte.

Actividad 2.5: Aplicación de la cortina acústica en la transferencia en mar abierto. Se empleará el sistema en la transferencia en mar abierto. Con los datos obtenidos se realizará un informe que podrá ser puesto a disposición de las autoridades pesqueras nacionales con el objetivo de que el método pueda ser aceptado.

Actividad 2.6: Mediciones durante el transporte. Se realizarán mediciones de tamaño de los atunes en la jaula de transporte durante el mismo para aumentar la robustez de las mediciones y proceder a ajustar el sistema.

Actividad 2.7: Aplicación de la cortina acústica en la transferencia a las instalaciones. Se empleará el sistema en la transferencia a la llegada a las instalaciones y se contrastarán los datos obtenidos con los previos.

Actividad 2.8: Mediciones durante el engorde. Se realizarán mediciones de tamaño durante todo el periodo de engorde.

Actividad 2.9: Obtención del factor de crecimiento. Una vez sacrificados y ya con los datos reales de número de atunes y tamaño individual se procederá a la obtención del factor de crecimiento, que será comunicado a las autoridades pesqueras competentes para la validación del sistema.

Actividad 2.10: Validación general del sistema. Validación general del sistema, patentado del mismo, difusión de los resultados y solicitud de aceptación como método válido en la estimación de la captura realizada y del factor de crecimiento durante la fase de engorde de atún rojo.

4. Bibliografía

- Aguado, F. and García-García, B. 2005, Changes in some morphometric relationships in Atlantic bluefin tuna (*Thunnus thynnus thynnus* Linnaeus, 1758) as a result of fattening process. *Aquaculture* 249, 303-309.
- Belmonte, A., Ortega, A. y De la Gándara, F. 2007, Cultivo de túnidos. In: *Actas del XI Congreso Nacional de Acuicultura*, Vigo, 539-546.
- Belmonte, A. y De la Gándara, F. 2008, El cultivo del atún rojo, *Thunnus thynnus*. Fundación Observatorio Español de Acuicultura. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Ministerio de medio ambiente y medio rural y marino. 37 pp.
- Bertrand, A. and Josse, E. 2000, Tuna target-strength related to fish length and swimbladder volume. *ICES Journal of Marine Science* 57, 1143-1146.
- Brehmer, P., Georgakarakos, S., Josse, E., Trygonis, V. and Dalen, J. 2007. Adaptation of fisheries sonar for monitoring schools of large pelagic fish: dependence of schooling behaviour on fish finding efficiency. *Aquatic Living Resources* 20, 377-384.
- Collette, B.B., Reeb, C., and Block, B.A. 2002, Systematics of the tunas and mackerels (Scombridae). In: Block, B.A., Stevens, E.D. (Eds.), *Tuna, physiology, ecology, and evolution*, Academic Press, New York, pp. 5-35.
- Conti, S.G., Roux, P., Fauvel, C., Maurer, B.D., Demer, D.A. 2006, Acoustical monitoring of fish density, behavior, and growth rate in a tank. *Aquaculture* 251, 314-323.
- Cort, J.L. 2007, El enigma del atún rojo reproductor del Atlántico Nororiental. Bedia Artes Gráficas, S.C., Santander, 63 pp.
- De la Gándara, F., Miquel, J., Iglesias, M., Belmonte, A., Ayora, E. and García-Gómez, A. 2005, Using an echosounder system to study the vertical movements of captive bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) in floating cages. *European Aquaculture Society Special Publication* 35, 171-172.
- Doray, M., Josse, E., Gervain, P., Reynal, L., Chantrel, J. 2007, Joint use of echosounding, fishing and video techniques to assess the structure of fish aggregations around moored Fish Aggregating Devices in Martinique (Lesser Antilles). *Aquatic Living Resources* 20, 357-366.
- Espinosa, V., Ramis, J., Alba, J. 2002, Evaluación de la sonda ultrasónica EY-500 de Simrad para el control de explotaciones de dorada *Sparus auratus*, Linnaeus, 1758, Bol. Inst. Esp. Oceanogr. 18 (1-4): 15-19
- Espinosa, V. et al, 2006, Acoustical monitoring of open mediterranean sea fish farms: problems and strategies, EAA European symposium on hidroacoustics. Gandia. FAO. 1994. World review of highly migratory species and straddling stocks. *FAO Fish. Tech. Pap.* 337, 1-75.
- FAO. 2008, Capture based aquaculture. *Global overview*. FAO Fish.Tech.Pap. Rome, 508 pp.
- Foote, K.G. 1991, Summary of methods for determining fish target strength at ultrasonic frequencies, *ICES J. mar. Sci.*, 48: 211-217.
- Fromentin, J.M. and Powers, J.E. 2005, Atlantic bluefin tuna: population dynamics, ecology, fisheries and management. *Fish and Fisheries* 6, 281-306.
- Horne, J.K. 2000, Acoustic approaches to remote species identification: a review, *Fish. Oceanogr.* 9:4, 356±371
- ICCAT. 2009a, Informe del Comité permanente de Investigación y Estadísticas (SCRS). Octubre 2008. Madrid, 246 pp. En: Informe del período bienal, 2009-09 1ª Parte (2008) – Vol. 2 – SCRS.
- ICCAT. 2009b, Recomendación 08-05. In: Informe del período bienal, 2009-09 1ª Parte (2008) – Vol. 1 – COM.

- Juell, J.E., Bjordal, A.A., Fernoe, A. and Huse, I. 1994, Effect of feeding intensity on food intake and growth of Atlantic salmon, *Salmo salar* L., in sea cages. *Aquaculture and Fisheries Management* 25(4), 453-464.
- Knudsen, F.R., Fosseidengen, J.E., Oppedal, F., Karlsen, Ø., Ona, E. 2004, Hydroacoustic monitoring of fish in sea cages: target strength (TS) measurements on Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Fisheries Research*, 69: 205-209
- Korneliussen, R. J., Heggelund, Y., Eliassen, I. K., Øye, O. K., Knutsen, T., and Dalen, J. 2009, Combining multibeam-sonar and multifrequency-echosounder data: examples of the analysis and imaging of large euphausiid schools. *ICES Journal of Marine Science*, 66: 991-997.
- Lutcavage, M.E., Brill, R.W., Skomal, G.B., Chase, B.C., Goldstein, J.L. and Tutein, J., 2000, Tracking adult North Atlantic bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) in the northwestern Atlantic using telemetry. *Marine Biology* 137, 347-358.
- Mac Lennan, D., Simmonds, E.J. 1995, *Fisheries acoustics*, London, Chapman & Hall
- Miyake, P.M., de la Serna, J.M., Di Natale, A., Farrugia, A., Katavic, I., Miyabe, N. and Ticina, V. 2003, General review of bluefin tuna farming in the Mediterranean area. *Collect. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, 55(1), 114-124.
- Ottolenghi, F., Silvestri, C., Giordano, P., Lovatelli, A. and New, M.B. 2004, Capture-based aquaculture. The fattening of eels, groupers, tunas and yellowtails. *FAO, Rome*, 308 pp.
- Ona, E., Mazauric, V., and Andersen, L.N. 200, Calibration methods for two scientific multibeam systems. – *ICES Journal of Marine Science*, 66: 1326-1334.
- Soria, M., Bahri, T. and Gerlotto, F. 2003, Effect of external factors (environment and survey vessel) on fish school characteristics observed by echosounder and multibeam sonar in the Mediterranean Sea. *Aquatic Living Resources* 16, 145-157.
- Ticina, V., Katavic, I., Grubisic, L. 2007, Growth indices of small northern bluefin tuna (*Thunnus thynnus*, L.) in growth-out rearing cages. *Aquaculture* 269, 538-543.

Tabla 1. Cronograma de actividades.

<i>Actividades</i>	<i>Año 1</i>				<i>Año 2</i>											
	<i>Sep</i>	<i>Oct</i>	<i>Nov</i>	<i>Dec</i>	<i>Ene</i>	<i>Feb</i>	<i>Mar</i>	<i>Abr</i>	<i>May</i>	<i>Jun</i>	<i>Jul</i>	<i>Ago</i>	<i>Sep</i>	<i>Oct</i>	<i>Nov</i>	<i>Dec</i>
1.1: Diseño del sistema de medida de TS.																
1.2: Medición del TS para la medida indirecta del tamaño individual de los atunes.																
1.3: Calibración del sistema con los datos reales																
2.1: Diseño de la cortina acústica																
2.2: Aplicación de la cortina acústica																
2.3: Puesta a punto del interfaz																
2.4: Adaptación de la cortina acústica a mar abierto																
2.5: Aplicación de la cortina acústica en la transferencia en mar abierto																
2.6: Mediciones durante el transporte																
2.7: Aplicación de la cortina acústica en la transferencia a las instalaciones																
2.8: Mediciones durante el engorde																
2.9: Obtención del factor de crecimiento																
2.10: Validación general del sistema																